



CONTADOR ARBITRARIO

10-2-11-10-4-14-9-0-4-0

Descripción breve

Implementación de un contador arbitrario mediante puertas lógicas y módulos JK.

Pablo Jesús González Rubio 1-A4

ÍNDICE

1. Objetivo y aspectos relevantes.....	3
2. Cuenta a realizar y tabla de verdad.....	4
3. Mapas de Karnaugh.....	5-8
4. Imagen circuito.....	9
5. Análisis del coste de puertas lógicas.....	10
6. Código en Verilog.....	11-13
a. Pruebas del correcto funcionamiento:	
i. Consola.....	14-16
ii. GTKWave.....	16

OBJETIVOS Y ASPECTOS RELEVANTES

El principal objetivo de la práctica es ser capaz de desarrollar un circuito que, dada una señal de reloj, consiga variar los bits de tal forma que sus valores en decimal se modifiquen de la forma:

A-B-C-D-E-F-G-H-I-J-A-...

Para ello se debe implementar esta cuenta mediante puertas lógicas ya conocidas como AND, OR y NOT, junto con módulos como el JK.

MAPAS DE KARNAUGH

La secuencia era: 10-2-11-10-4-14-9-0-4-0

La he cambiado por: 10-2-11- 8 -4-14-9-0-3-5

La tabla de verdad es:

E	Q ₃	Q ₂	Q ₁	Q ₀	Q ₃	Q ₂	Q ₁	Q ₀	S	J ₃	K ₃	J ₂	K ₂	J ₁	K ₁	J ₀	K ₀
0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	0	X	0	X	1	X	1	X
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	X	0	X	0	X	X	1
2	0	0	1	0	1	0	1	1	11	1	X	0	X	X	0	1	X
3	0	0	1	1	0	1	0	1	5	0	X	1	X	X	1	X	0
4	0	1	0	0	1	1	1	0	14	1	X	X	0	1	X	0	X
5	0	1	0	1	1	0	1	0	10	1	X	X	1	1	X	X	1
6	0	1	1	0	0	1	0	1	5	0	X	X	0	X	1	1	X
7	0	1	1	1	0	1	0	1	5	0	X	X	0	X	1	X	0
8	1	0	0	0	0	1	0	0	4	X	1	1	X	0	X	0	X
9	1	0	0	1	0	0	0	0	0	X	1	0	X	0	X	X	1
10	1	0	1	0	0	0	1	0	2	X	1	0	X	X	0	0	X
11	1	0	1	1	1	0	0	0	8	X	0	0	X	X	1	X	1
12	1	1	0	0	1	0	1	1	11	X	0	X	1	1	X	1	X
13	1	1	0	1	1	0	1	1	11	X	0	X	1	1	X	X	0
14	1	1	1	0	1	0	0	1	9	X	0	X	1	X	1	1	X
15	1	1	1	1	1	1	1	0	14	X	0	X	0	X	0	X	1

Los mapas de Karnaugh son:

$\begin{matrix} I_1 I_0 \\ \text{---} \\ I_3 I_2 \end{matrix}$	00	01	11	10
00	0	0	0	1
01	1	1	0	0
11	X	X	X	X
10	X	X	X	X

$$J_3 = I_2 \bar{I}_1 + \bar{I}_2 I_1 \bar{I}_0$$

$\begin{matrix} I_1 I_0 \\ \text{---} \\ I_3 I_2 \end{matrix}$	00	01	11	10
00	X	X	X	X
01	X	X	X	X
11	0	0	0	0
10	1	1	0	1

$$K_3 = \bar{I}_2 \bar{I}_0 + \bar{I}_2 \bar{I}_1$$

$\begin{matrix} I_1 I_0 \\ \text{---} \\ I_3 I_2 \end{matrix}$	00	01	11	10
00	0	0	1	0
01	X	X	X	X
11	X	X	X	X
10	1	0	0	0

$$J_2 = \bar{I}_3 I_1 I_0 + I_3 \bar{I}_1 \bar{I}_0$$

$\begin{matrix} I_1 I_0 \\ \text{---} \\ I_3 I_2 \end{matrix}$	00	01	11	10
00	X	X	X	X
01	0	1	0	0
11	1	1	0	1
10	X	X	X	X

$$K_2 = I_3 \bar{I}_0 + \bar{I}_1 I_0$$

$\begin{matrix} I_1 I_0 \\ \text{---} \\ I_3 I_2 \end{matrix}$	00	01	11	10
00	1	0	X	X
01	1	1	X	X
11	1	1	X	X
10	0	0	X	X

$$J_1 = \bar{I}_3 \bar{I}_0 + I_2$$

$\begin{matrix} I_1 I_0 \\ \text{---} \\ I_3 I_2 \end{matrix}$	00	01	11	10
00	X	X	1	0
01	X	X	1	1
11	X	X	0	1
10	X	X	1	0

$$K_1 = \bar{I}_2 I_0 + I_2 \bar{I}_0 + \bar{I}_3 I_0$$

$\begin{matrix} I_1 I_0 \\ \text{---} \\ I_3 I_2 \end{matrix}$	00	01	11	10
00	1	X	X	1
01	0	X	X	1
11	1	X	X	1
10	0	X	X	0

$$J_0 = \bar{I}_3 I_1 + I_3 I_2 + \bar{I}_3 \bar{I}_2$$

$\begin{matrix} I_1 I_0 \\ \text{---} \\ I_3 I_2 \end{matrix}$	00	01	11	10
00	X	1	0	X
01	X	1	0	X
11	X	0	1	X
10	X	1	1	X

$$K_0 = \bar{I}_3 \bar{I}_1 + I_3 I_1 + \bar{I}_2 \bar{I}_1$$

DESHACER EL CAMBIO

E	Q ₃	Q ₂	Q ₁	Q ₀	Q ₃	Q ₂	Q ₁	Q ₀	S
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0	1	1
2	0	0	1	0	0	0	1	0	2
3	0	0	1	1	0	1	0	0	4
4	0	1	0	0	0	1	0	0	4
5	0	1	0	1	1	0	1	0	0
6	0	1	1	0	0	1	1	0	6
7	0	1	1	1	0	1	1	1	7
8	1	0	0	0	1	0	1	0	10
9	1	0	0	1	1	0	0	1	9
10	1	0	1	0	1	0	1	0	10
11	1	0	1	1	1	0	1	1	11
12	1	1	0	0	1	1	0	0	12
13	1	1	0	1	1	1	0	1	13
14	1	1	1	0	1	1	1	0	14
15	1	1	1	1	1	1	1	1	15

$I_1 I_0$ --- $I_3 I_2$	00	01	11	10
00	0	0	0	0
01	0	0	0	0
11	1	1	1	1
10	1	1	1	1

$I_1 I_0$ --- $I_3 I_2$	00	01	11	10
00	0	0	1	0
01	1	0	1	1
11	1	1	1	1
10	0	0	0	0

$$Q_3 = Q_3$$

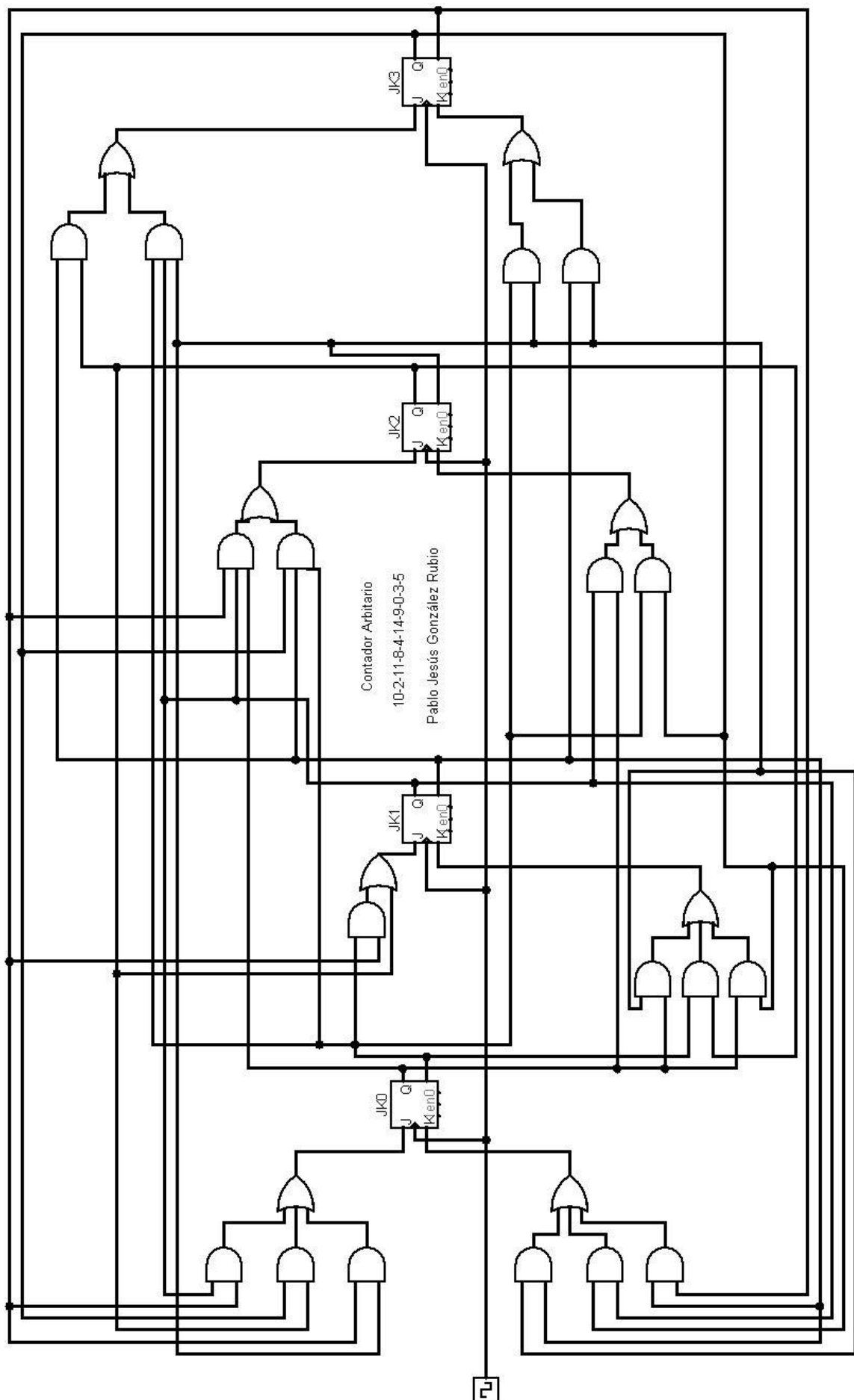
$$Q_2 = I_2 \bar{I}_0 + I_3 I_2 + \bar{I}_3 I_1 I_0$$

$I_1 I_0$ --- $I_3 I_2$	00	01	11	10
00	0	0	0	1
01	0	0	1	1
11	0	0	1	1
10	1	0	1	1

$I_1 I_0$ --- $I_3 I_2$	00	01	11	10
00	0	1	0	0
01	0	0	1	0
11	0	1	1	0
10	0	1	1	0

$$Q_1 = I_1 \bar{I}_0 + I_2 I_1 + I_3 I_1 + I_3 \bar{I}_2 \bar{I}_0$$

$$Q_0 = I_3 I_0 + \bar{I}_2 \bar{I}_1 I_0 + I_2 I_1 I_0$$



ANÁLISIS COSTE DE PUERTAS LÓGICAS

Puerta AND: $\pm 0,537\text{€}$

Puerta NOT: $\pm 0,41\text{€}$

Puerta OR: $\pm 0,497\text{€}$

Biestable JK: $\pm 0,647\text{€}$

$$28 \text{ AND} + 11 \text{ OR} + 8 \text{ NOT} + 4 \text{ JK} = \pm 26,37\text{€}$$

Dado que existen diferentes precios para cada modelo de puerta lógica y diferentes páginas de venta de los mismos, he tomado valores de una página y los he puesto como valores aproximados.

El coste para un contador de 10 números es de $\pm 26,37\text{€}$ (en mi caso), aunque se podía reducir minimizando las ecuaciones o cogiendo otros valores para los números que no se encuentran en el contador.

IMPLEMENTACIÓN EN VERILOG

```
module JK(output reg Q,output wire nQ, input wire J, input wire K, input wire C);
    initial Q=0;
    not(nQ,Q);
    always @(negedge C)
        case({J,K})
            2'b01: Q=0;
            2'b10: Q=1;
            2'b11: Q=~Q;
        endcase
endmodule

module CONTADOR(output wire [3:0]Q, input wire C);
    wire [3:0]nQ;
    wire aJ3_1,aJ3_2,oJ3;      wire aK3_1,aK3_2,oK3;
    wire aJ2_1,aJ2_2,oJ2;      wire aK2_1,aK2_2,oK2;
    wire aJ1_1,oJ1;            wire aK1_1,aK1_2,aK1_3,oK1;
    wire aJ0_1,aJ0_2,aJ0_3,oJ0; wire aK0_1,aK0_2,aK0_3,oK0;

    not n0(nQ[0],Q[0]);
    not n1(nQ[1],Q[1]);
    not n2(nQ[2],Q[2]);
    not n3(nQ[3],Q[3]);

    //J3
    and a1(aJ3_1,Q[2],nQ[1]);
    and a2(aJ3_2,nQ[2],Q[1],nQ[0]);
    or o1(oJ3,aJ3_1,aJ3_2);

    //K3
    and a3(aK3_1,nQ[2],nQ[0]);
    and a4(aK3_2,nQ[2],nQ[1]);
    or o2(oK3,aK3_1,aK3_2);

    //J2
    and a5(aJ2_1,nQ[3],Q[1],Q[0]);
    and a6(aJ2_2,Q[3],nQ[1],nQ[0]);
    or o3(oJ2,aJ2_1,aJ2_2);

    //K2
    and a7(aK2_1,Q[3],nQ[0]);
    and a8(aK2_2,nQ[1],Q[0]);
    or o4(oK2,aK2_1,aK2_2);

    //J1
    and a9(aJ1_1,nQ[3],nQ[0]);
    or o5(oJ1,aJ1_1,Q[2]);

    //K1
    and a10(aK1_1,nQ[2],Q[0]);
    and a11(aK1_2,Q[2],nQ[0]);
    and a12(aK1_3,nQ[3],Q[0]);
    or o6(oK1,aK1_1,aK1_2,aK1_3);
```

```

//J0
and a13(aJ0_1,nQ[3],Q[1]);
and a14(aJ0_2,Q[3],Q[2]);
and a15(aJ0_3,nQ[3],nQ[2]);
or o7(oJ0,aJ0_1,aJ0_2,aJ0_3);

//K0
and a16(aK0_1,nQ[3],nQ[1]);
and a17(aK0_2,Q[3],Q[1]);
and a18(aK0_3,nQ[2],nQ[1]);
or o8(oK0,aK0_1,aK0_2,aK0_3);

//CONTADOR
JK JK0(Q[0],nQ[0],oJ0,oK0,C);
JK JK1(Q[1],nQ[1],oJ1,oK1,C);
JK JK2(Q[2],nQ[2],oJ2,oK2,C);
JK JK3(Q[3],nQ[3],oJ3,oK3,C);
endmodule

module CAMBIO (output wire [3:0] Q,input wire [3:0] I);
wire [3:0] nI;
wire aQ2_1,aQ2_2,aQ2_3;
wire aQ1_1,aQ1_2,aQ1_3,aQ1_4;
wire aQ0_1,aQ0_2,aQ0_3;
not n4(nI[0],I[0]);
not n5(nI[1],I[1]);
not n6(nI[2],I[2]);
not n7(nI[3],I[3]);

//CAMBIOS 3->4; 5->0; 8->10
//Q3
assign Q[3]=I[3];
//Q2
and a19(aQ2_1,I[2],nI[0]);
and a20(aQ2_2,I[3],I[2]);
and a21(aQ2_3,nI[3],I[1],I[0]);
or o9(Q[2],aQ2_1,aQ2_2,aQ2_3);
//Q1
and a22(aQ1_1,I[1],nI[0]);
and a23(aQ1_2,I[2],I[1]);
and a24(aQ1_3,I[3],I[1]);
and a25(aQ1_4,I[3],nI[2],nI[0]);
or o10(Q[1],aQ1_1,aQ1_2,aQ1_3,aQ1_4);
//Q0
and a26(aQ0_1,I[3],I[0]);
and a27(aQ0_2,nI[2],nI[1],I[0]);
and a28(aQ0_3,I[2],I[1],I[0]);
or o11(Q[0],aQ0_1,aQ0_2,aQ0_3);

endmodule

```

```

module TEST;
    wire [3:0]0;
    reg C;

    CONTADOR CA(0,C);

    wire [3:0] cambio;
    CAMBIO io(cambio,0);
    always #5 C=~C;

    initial
        begin
            $dumpfile("EJ.dmp");
            $dumpvars;
            $display("Inicial 1010 (10)");
            CA.JK3.Q<=1; CA.JK2.Q<=0; CA.JK1.Q<=1; CA.JK0.Q<=0;
            C=0;
            $monitor($time,"C: %b Serie: %b
(%d)",C,cambio,cambio);

            #120;
            $display("Inicial 0001 (1)");
            CA.JK3.Q<=0; CA.JK2.Q<=0; CA.JK1.Q<=0; CA.JK0.Q<=1;
            #55;
            $display("Inicial 0110 (6)");
            CA.JK3.Q<=0; CA.JK2.Q<=1; CA.JK1.Q<=1; CA.JK0.Q<=0;
            #55;
            $display("Inicial 0111 (7)");
            CA.JK3.Q<=0; CA.JK2.Q<=1; CA.JK1.Q<=1; CA.JK0.Q<=1;
            #55;
            $display("Inicial 1100 (12)");
            CA.JK3.Q<=1; CA.JK2.Q<=1; CA.JK1.Q<=0; CA.JK0.Q<=0;
            #55;
            $display("Inicial 1101 (13)");
            CA.JK3.Q<=1; CA.JK2.Q<=1; CA.JK1.Q<=0; CA.JK0.Q<=1;
            #55;
            $display("Inicial 1111 (15)");
            CA.JK3.Q<=1; CA.JK2.Q<=1; CA.JK1.Q<=1; CA.JK0.Q<=1;
            #55;
            $dumpoff;
        $finish; //Es para que termine el always
    end
endmodule

```

SALIDA DEL CÓDIGO

Inicial 1010 (10)

0C: 0 Serie: 1010 (10)
5C: 1 Serie: 1010 (10)
10C: 0 Serie: 0010 (2)
15C: 1 Serie: 0010 (2)
20C: 0 Serie: 1011 (11)
25C: 1 Serie: 1011 (11)
30C: 0 Serie: 1010 (10)
35C: 1 Serie: 1010 (10)
40C: 0 Serie: 0100 (4)
45C: 1 Serie: 0100 (4)
50C: 0 Serie: 1110 (14)
55C: 1 Serie: 1110 (14)
60C: 0 Serie: 1001 (9)
65C: 1 Serie: 1001 (9)
70C: 0 Serie: 0000 (0)
75C: 1 Serie: 0000 (0)
80C: 0 Serie: 0100 (4)
85C: 1 Serie: 0100 (4)
90C: 0 Serie: 0000 (0)
95C: 1 Serie: 0000 (0)
100C: 0 Serie: 1010 (10)
105C: 1 Serie: 1010 (10)
110C: 0 Serie: 0010 (2)
115C: 1 Serie: 0010 (2)

Inicial 0001 (1)

120C: 0 Serie: 0001 (1)
125C: 1 Serie: 0001 (1)
130C: 0 Serie: 0000 (0)
135C: 1 Serie: 0000 (0)
140C: 0 Serie: 0100 (4)
145C: 1 Serie: 0100 (4)
150C: 0 Serie: 0000 (0)
155C: 1 Serie: 0000 (0)
160C: 0 Serie: 1010 (10)
165C: 1 Serie: 1010 (10)
170C: 0 Serie: 0010 (2)

Inicial 0110 (6)

175C: 1 Serie: 0110 (6)
180C: 0 Serie: 0000 (0)
185C: 1 Serie: 0000 (0)
190C: 0 Serie: 1010 (10)
195C: 1 Serie: 1010 (10)
200C: 0 Serie: 0010 (2)
205C: 1 Serie: 0010 (2)
210C: 0 Serie: 1011 (11)
215C: 1 Serie: 1011 (11)
220C: 0 Serie: 1010 (10)
225C: 1 Serie: 1010 (10)

Inicial 0111 (7)

230C: 0 Serie: 0111 (7)
235C: 1 Serie: 0111 (7)
240C: 0 Serie: 0000 (0)
245C: 1 Serie: 0000 (0)
250C: 0 Serie: 1010 (10)
255C: 1 Serie: 1010 (10)
260C: 0 Serie: 0010 (2)
265C: 1 Serie: 0010 (2)
270C: 0 Serie: 1011 (11)
275C: 1 Serie: 1011 (11)
280C: 0 Serie: 1010 (10)

Inicial 1100 (12)

285C: 1 Serie: 1100 (12)
290C: 0 Serie: 1011 (11)
295C: 1 Serie: 1011 (11)
300C: 0 Serie: 1010 (10)
305C: 1 Serie: 1010 (10)
310C: 0 Serie: 0100 (4)
315C: 1 Serie: 0100 (4)
320C: 0 Serie: 1110 (14)
325C: 1 Serie: 1110 (14)
330C: 0 Serie: 1001 (9)
335C: 1 Serie: 1001 (9)

Inicial 1101 (13)

340C: 0 Serie: 1101 (13)
345C: 1 Serie: 1101 (13)
350C: 0 Serie: 1011 (11)
355C: 1 Serie: 1011 (11)
360C: 0 Serie: 1010 (10)
365C: 1 Serie: 1010 (10)
370C: 0 Serie: 0100 (4)
375C: 1 Serie: 0100 (4)
380C: 0 Serie: 1110 (14)
385C: 1 Serie: 1110 (14)
390C: 0 Serie: 1001 (9)

Inicial 1111 (15)

395C: 1 Serie: 1111 (15)
400C: 0 Serie: 1110 (14)
405C: 1 Serie: 1110 (14)
410C: 0 Serie: 1001 (9)
415C: 1 Serie: 1001 (9)
420C: 0 Serie: 0000 (0)
425C: 1 Serie: 0000 (0)
430C: 0 Serie: 0100 (4)
435C: 1 Serie: 0100 (4)
440C: 0 Serie: 0000 (0)
445C: 1 Serie: 0000 (0)
450C: 0 Serie: 1010 (10)

GTKWave

